

# CATADIOPTIC SYSTEM AND EXPOSURE DEVICE HAVING THIS CATADIOPTIC SYSTEM

Publication number: JP2002372668 (A)

Publication date: 2002-12-26

Inventor(s): TAKAHASHI YUTO

Applicant(s): NIPPON KOGAKU KK

Classification:

- international: G02B13/14; G02B13/18; G02B17/08; G03F7/20; H01L21/027; G02B13/14; G02B13/18; G02B17/08; G03F7/20; H01L21/02; (IPC1-7): G02B17/08; G02B13/14; G02B13/18; G03F7/20; H01L21/027

- European: G02B17/08U; G02B17/08A2; G03F7/20T16

Application number: JP20010179579 20010614

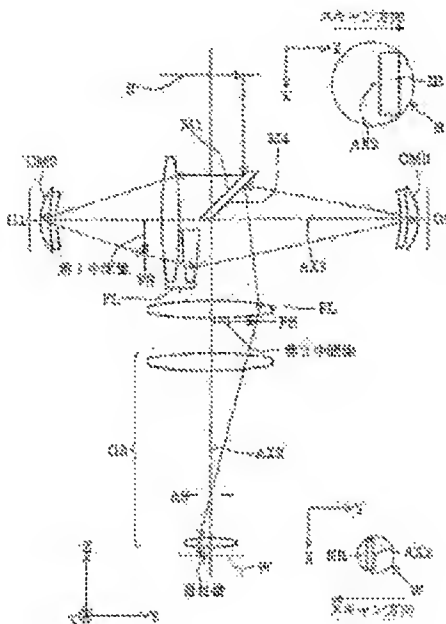
Priority number(s): JP20010179579 20010614

Also published as:

WO02103431 (A1)

## Abstract of JP 2002372668 (A)

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a catadioptric system which is small in the distance between an object surface and an image surface, has a simple constitution of a small number of lens elements, is capable of achieving high resolution of  $\leq 0.1 \mu\text{m}$  by using light of a vacuum UV wavelength of, for example,  $\leq 180 \text{ nm}$ . **SOLUTION:** This catadioptric system has a first imaging optical system (G1) which has a concave mirror (CM2) and a plane reflecting mirror (M1) and forms the first intermediate image of the first surface in accordance with the light from the first surface (R), a second imaging optical system (G2) which has a concave mirror (CM3) and a plane reflecting mirror (M4) and forms the second intermediate image of the first surface in accordance with the light through the first imaging optical system and the third imaging optical system (G3) of a refraction type which forms the final image of the first surface on the second surface (W) in accordance with the light through the second imaging optical system.



Data supplied from the esp@cenet database — Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2002-372668  
(P2002-372668A)

(43) 公開日 平成14年12月26日 (2002. 12. 26)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマコード* (参考)
G 0 2 B 17/08		G 0 2 B 17/08	A 2 H 0 8 7
13/14		13/14	5 F 0 4 6
13/18		13/18	
G 0 3 F 7/20	5 2 1	G 0 3 F 7/20	5 2 1
H 0 1 L 21/027		H 0 1 L 21/30	5 1 5 D
審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 17 頁)			

(21) 出願番号 特願2001-179579(P2001-179579)

(22) 出願日 平成13年6月14日 (2001. 6. 14)

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 高橋 友刀

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

(74) 代理人 100095256

弁理士 山口 孝雄

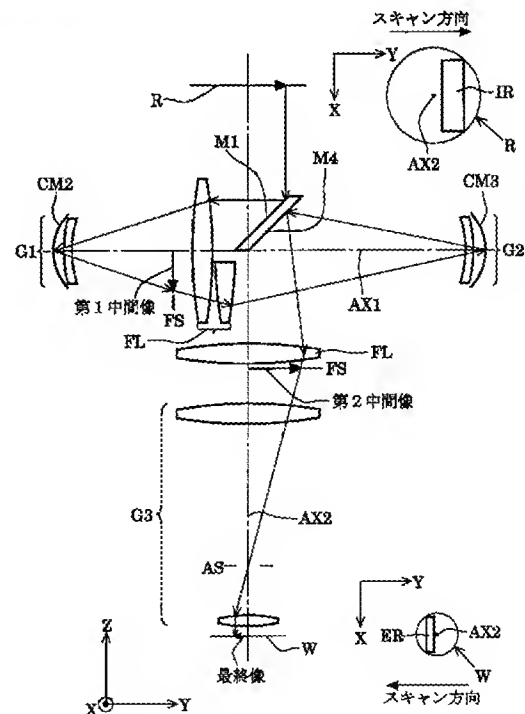
Fターム(参考) 2H087 KA21 NA04 RA05 RA12 RA13  
RA32 RA37 TA01 TA02  
5F046 BA03 CA08 CB02 CB03 CB12  
CB25

(54) 【発明の名称】 反射屈折光学系および該光学系を備えた露光装置

(57) 【要約】

【課題】 物体面と像面との距離が小さく且つレンズ枚数の少ない簡素な構成を有し、たとえば波長が180nm以下の真空紫外線波長域の光を用いて0.1μm以下の高解像を達成することのできる反射屈折光学系。

【解決手段】 凹面反射鏡 (CM2) と平面反射鏡 (M1) とを有し、第1面 (R) からの光に基づいて第1面の第1中間像を形成するための第1結像光学系 (G1) と、凹面反射鏡 (CM3) と平面反射鏡 (M4) とを有し、第1結像光学系を介した光に基づいて第1面の第2中間像を形成するための第2結像光学系 (G2) と、第2結像光学系を介した光に基づいて第1面の最終像を第2面 (W) 上に形成するための屈折型の第3結像光学系 (G3) とを備えている。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 少なくとも1つの凹面反射鏡と少なくとも1つの平面反射鏡とを有し、第1面からの光に基づいて前記第1面の第1中間像を形成するための第1結像光学系と、

少なくとも1つの凹面反射鏡と少なくとも1つの平面反射鏡とを有し、前記第1結像光学系を介した光に基づいて前記第1面の第2中間像を形成するための第2結像光学系と、

前記第2結像光学系を介した光に基づいて前記第1面の最終像を第2面上に形成するための屈折型の第3結像光学系とを備えていることを特徴とする反射屈折光学系。

【請求項2】 前記第1結像光学系の平面反射鏡を除くすべての光学部材および前記第2結像光学系の平面反射鏡を除くすべての光学部材は、直線状に延びた単一の第1光軸に沿って配置され、

前記第3結像光学系のすべての光学部材は、前記第1光軸と直交するように直線状に延びた単一の第2光軸に沿って配置され、

前記第1面からの光は、前記第1結像光学系中の1つの平面反射鏡および1つの凹面反射鏡を順次介して、前記第1中間像を形成し、

前記第1結像光学系を介した光は、前記第2結像光学系の1つの平面反射鏡および1つの凹面反射鏡を順次介して、前記第2中間像を形成することを特徴とする請求項1に記載の反射屈折光学系。

【請求項3】 前記第1結像光学系は、前記凹面反射鏡の直前に配置された少なくとも1つの負レンズ成分を有することを特徴とする請求項2に記載の反射屈折光学系。

【請求項4】 前記第2結像光学系は、前記凹面反射鏡の直前に配置された少なくとも1つの負レンズ成分を有することを特徴とする請求項2または3に記載の反射屈折光学系。

【請求項5】 前記第1結像光学系と前記第2結像光学系との間の光路中にはフィールドレンズが配置されていることを特徴とする請求項1乃至4のいずれか1項に記載の反射屈折光学系。

【請求項6】 前記第1結像光学系と前記第2結像光学系との間の光路中に配置された前記フィールドレンズのうちの少なくとも1つのレンズは、前記第1結像光学系の前記凹面反射鏡への入射光を通過させることなく前記凹面反射鏡からの反射光だけを通過させるために部分的に切り欠かれた形状を有することを特徴とする請求項5に記載の反射屈折光学系。

【請求項7】 前記第1結像光学系と前記第2結像光学系との間の光路中に配置された前記フィールドレンズのうちの少なくとも1つのレンズは、前記第1結像光学系の前記凹面反射鏡への入射光および前記凹面反射鏡からの反射光とともに通過させるように形成されていること

を特徴とする請求項5または6に記載の反射屈折光学系。

【請求項8】 前記第2結像光学系と前記第3結像光学系との間の光路中にはフィールドレンズが配置されていることを特徴とする請求項1乃至7のいずれか1項に記載の反射屈折光学系。

【請求項9】 前記第1面に設定されたマスクを照明するための照明系と、前記マスクに形成されたパターン像を前記第2面に設定された感光性基板上に形成するための請求項1乃至8のいずれか1項に記載の反射屈折光学系とを備えていることを特徴とする露光装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は反射屈折光学系および該光学系を備えた露光装置に関し、特に半導体素子などをフォトリソグラフィ工程で製造する際に使用される露光装置に最適な高解像の反射屈折型の投影光学系に関する。

## 【0002】

【従来の技術】近年、半導体素子の製造や半導体チップ実装基板の製造では、微細化がますます進んでおり、パターンを焼き付ける露光装置ではより解像力の高い投影光学系が要求されてきている。この高解像の要求を満足するには、露光光を短波長化し、且つNA（投影光学系の開口数）を大きくしなければならない。しかしながら、露光光の波長が短くなると、光の吸収のため実用に耐える光学ガラスの種類が限られてくる。たとえば、波長が180nm以下になると、実用上使える硝材は螢石だけとなる。

【0003】この場合、屈折光学部材（レンズ、平行平板など）だけで投影光学系を構成すると、形成された屈折型の投影光学系では色収差の補正が全く不可能となる。換言すると、要求される解像力を有する投影光学系を屈折光学部材だけで構成することは非常に難しいものとなる。これに対して、反射光学部材すなわち反射鏡のみで投影光学系を構成することも試みられている。

【0004】しかしながら、この場合、形成される反射型の投影光学系は大型化し、且つ反射面の非球面化が必要となる。なお、反射面を高精度に非球面化することは、製作の面で極めて困難である。そこで、短波長光の使用に耐える光学ガラスからなる屈折光学部材と反射鏡とを組み合わせた、いわゆる反射屈折型の縮小光学系が種々提案されている。

## 【0005】

【発明が解決しようとする課題】その中で、特開平4-234722号公報や米国特許第4,779,966号公報には、凹面反射鏡を1枚だけ用いて中間像を1回だけ形成するタイプの反射屈折光学系が知られている。このタイプの反射屈折光学系では、凹面反射鏡を含む往復兼用光学系部分が負レンズだけを含み、正のパワーを有

する屈折光学部材を含んでいない。その結果、光束が広がった状態で凹面反射鏡に入射するため、凹面反射鏡の径が大きくなりがちであった。

【0006】特に、特開平4-234722号公報に開示された光学系は、凹面反射鏡を含む往復兼用光学系部分が完全対称型の構成を有する。この場合、この往復兼用光学系部分での収差の発生を極力抑えて後続の屈折光学系部分の収差補正負担を軽くしている。しかしながら、対称型の往復兼用光学系を採用しているため、第1面付近でのワーキングディスタンスを十分に確保しにくく、また光路分岐のためにハーフプリズムを使用しなければならなかった。

【0007】また、米国特許第4,779,966号公報に開示された光学系では、中間像の形成位置よりも後方に配置される2次結像光学系に凹面反射鏡を使用している。この場合、光学系の必要な明るさを確保するためには、光束が広がった状態で凹面反射鏡に入射することになる。その結果、凹面反射鏡の径が大きくなりがちであり、その小型化が困難であった。

【0008】一方、複数の反射鏡を用いて中間像を1回だけ形成するタイプの反射屈折光学系も知られている。このタイプの反射屈折光学系では、屈折光学系部分のレンズ枚数を削減できる可能性がある。しかしながら、このタイプの反射屈折光学系では、以下の不都合があった。

【0009】上述のような構成の往復兼用光学系部分を縮小側である第2面側に配置するタイプの反射屈折光学系では、縮小倍率の関係から、反射鏡で反射された後の第2面（ウェハ面）までの距離を十分に長く確保することができない。このため、この光路中にあまり多くの枚数のレンズを挿入することができず、得られる光学系の明るさが限られた値にならざるを得なかった。また、高い開口数を有する光学系をたとえ実現することができたとしても、限られた長さの光路中に多くの屈折光学部材が配置されるため、第2面であるウェハ面と最も第2面側のレンズ面との距離、いわゆるワーキングディスタンスWDを十分に長く確保することができなかった。

【0010】従来の反射屈折光学系においては、光路を折り曲げる必要があり、必然的に複数の光軸（光学系を構成する屈折曲面または反射曲面の曲率中心を連ねる直線のことをいう）を有することになる。その結果、光学系を形成するために複数の鏡筒を要し、光軸相互の調整作業が非常に困難になり、高精度の光学系を実現することができなかった。なお、中央に開口部（光透過部）を有する一対の反射鏡を用いることにより、すべての光学部材を単一の直線状光軸に沿って配置したタイプの反射屈折光学系も可能である。しかしながら、このタイプの反射屈折光学系では、反射鏡で反射されることなく光軸に沿って進行する不要光を遮るために、中心光束の遮蔽すなわち中心遮蔽が必要になる。その結果、中心遮蔽に

起因して特定の周波数のパターンでコントラストの低下が起こるという不都合があった。

【0011】また、従来の反射屈折光学系では、有効な視野絞りおよび開口絞りを設置すべき位置を確保することができなかった。さらに、上述したように、従来の反射屈折光学系では、ワーキングディスタンスを十分に長く確保することができなかった。また、上述したように、従来の反射屈折光学系では、凹面反射鏡が大型化し易く、光学系の小型化を図ることができなかった。

【0012】さらに、従来の反射屈折光学系では、レンズ枚数が多くなりがちである。この場合、特にF<sub>θ</sub>エキシマレーザ用の光学系では、レンズ表面に形成すべき反射防止膜の高性能化が困難であり、使用光量の減衰を招き易い。また、高性能で高精度の光学系を実現するには物体面と像面との距離を小さくする必要があるが、従来の反射屈折光学系ではこの距離が十分に小さくなっていない。

【0013】本発明は、前述の課題に鑑みてなされたものであり、物体面と像面との距離が小さく且つレンズ枚数の少ない簡素な構成を有し、たとえば波長が180nm以下の真空紫外線波長域の光を用いて0.1μm以下の高解像を達成することのできる反射屈折光学系を提供することを目的とする。

【0014】さらに、本発明は、有効な視野絞りおよび開口絞りを設置すべき位置を確保することができ、たとえば波長が180nm以下の真空紫外線波長域の光を用いて0.1μm以下の高解像を達成することのできる反射屈折光学系を提供することを目的とする。

【0015】また、本発明は、十分に長いワーキングディスタンスを確保することができ、たとえば波長が180nm以下の真空紫外線波長域の光を用いて0.1μm以下の高解像を達成することのできる反射屈折光学系を提供することを目的とする。

【0016】また、本発明は、凹面反射鏡の大型化を抑えて光学系の小型化を図ることができ、たとえば波長が180nm以下の真空紫外線波長域の光を用いて0.1μm以下の高解像を達成することのできる反射屈折光学系を提供することを目的とする。

【0017】さらに、本発明の反射屈折光学系を投影光学系として使用し、たとえば波長が180nm以下の露光光を用いて、0.1μm以下の高解像で良好な投影露光を行うことのできる露光装置を提供することを目的とする。

【0018】

【課題を解決するための手段】前記課題を解決するために、本発明の第1発明では、少なくとも1つの凹面反射鏡と少なくとも1つの平面反射鏡とを有し、第1面からの光に基づいて前記第1面の第1中間像を形成するための第1結像光学系と、少なくとも1つの凹面反射鏡と少なくとも1つの平面反射鏡とを有し、前記第1結像光学

系を介した光に基づいて前記第1面の第2中間像を形成するための第2結像光学系と、前記第2結像光学系を介した光に基づいて前記第1面の最終像を第2面上に形成するための屈折型の第3結像光学系とを備えていることを特徴とする反射屈折光学系を提供する。

【0019】第1発明の好ましい態様によれば、前記第1結像光学系の平面反射鏡を除くすべての光学部材および前記第2結像光学系の平面反射鏡を除くすべての光学部材は、直線状に延びた単一の第1光軸に沿って配置され、前記第3結像光学系のすべての光学部材は、前記第1光軸と直交するように直線状に延びた単一の第2光軸に沿って配置され、前記第1面からの光は、前記第1結像光学系中の1つの平面反射鏡および1つの凹面反射鏡を順次介して、前記第1中間像を形成し、前記第1結像光学系を介した光は、前記第2結像光学系の1つの平面反射鏡および1つの凹面反射鏡を順次介して、前記第2中間像を形成する。

【0020】また、第1発明の好ましい態様によれば、前記第1結像光学系は、前記凹面反射鏡の直前に配置された少なくとも1つの負レンズ成分を有することが好ましい。また、前記第2結像光学系は、前記凹面反射鏡の直前に配置された少なくとも1つの負レンズ成分を有することが好ましい。さらに、前記反射屈折光学系は、第1面側および第2面側の少なくとも一方の側にテレセントリックであることが好ましい。また、前記第2結像光学系と前記第3結像光学系との間の光路中にはフィールドレンズが配置されていることが好ましい。

【0021】さらに、第1発明の好ましい態様によれば、前記第1結像光学系と前記第2結像光学系との間の光路中にはフィールドレンズが配置されている。この場合、前記第1結像光学系と前記第2結像光学系との間の光路中に配置された前記フィールドレンズのうちの少なくとも1つのレンズは、前記第1結像光学系の前記凹面反射鏡への入射光を通過させることなく前記凹面反射鏡からの反射光だけを通過させるために部分的に切り欠かれた形状を有することが好ましい。また、前記第1結像光学系と前記第2結像光学系との間の光路中に配置された前記フィールドレンズのうちの少なくとも1つのレンズは、前記第1結像光学系の前記凹面反射鏡への入射光および前記凹面反射鏡からの反射光とともに通過させるように形成されていることが好ましい。

【0022】本発明の第2発明では、前記第1面に設定されたマスクを照明するための照明系と、前記マスクに形成されたパターンを前記第2面に設定された感光性基板上に形成するための第1発明の反射屈折光学系とを備えていることを特徴とする露光装置を提供する。第2発明の好ましい態様によれば、前記反射屈折光学系に対して前記マスクおよび前記感光性基板を相対移動させて、前記マスクのパターンを前記感光性基板上に走査露光することが好ましい。

### 【0023】

【発明の実施の形態】図1は、本発明の反射屈折光学系の基本的な構成を説明するための図である。図1では、本発明の反射屈折光学系が走査露光型の露光装置の投影光学系に適用されている。図1に示すように、本発明の反射屈折光学系は、第1面に配置された投影原版としてのレチクルRのパターンの第1中間像を形成する第1結像光学系G1を備えている。なお、第1結像光学系G1は、少なくとも1つの凹面反射鏡と少なくとも1つの平面反射鏡、すなわち第1平面反射鏡M1および第2凹面反射鏡CM2を有する。第1結像光学系G1では、レチクルRからの光が第1平面反射鏡M1および第2凹面反射鏡CM2を介して第1中間像を形成する。

【0024】第1結像光学系G1を介した光は、第2結像光学系G2を介して、レチクルRのパターンの第2中間像を形成する。第2結像光学系G2は、少なくとも1つの凹面反射鏡と少なくとも1つの平面反射鏡、すなわち第3凹面反射鏡CM3および第4平面反射鏡M4を有する。したがって、第2結像光学系G2では、第1結像光学系G1を介した光が第3凹面反射鏡CM3および第4平面反射鏡M4を介して第2中間像を形成する。

【0025】第2結像光学系G2を介した光は、反射鏡を含むことなく複数の屈折光学部材を有する屈折型の第3結像光学系G3を介して、レチクルRのパターンの最終像を第2面に配置された感光性基板としてのウェハW上に形成する。本発明の反射屈折光学系を投影光学系として搭載した露光装置では、レチクルRおよびウェハWを所定の方向（スキャン方向）に沿って移動させながら、矩形状の照明領域IRおよび実効露光領域ERに基づく走査露光を行う。

【0026】具体的な態様によれば、第1結像光学系G1の第1平面反射鏡M1を除くすべての光学部材および第2結像光学系G2の第4平面反射鏡M4を除くすべての光学部材は、直線状に延びた単一の第1光軸AX1に沿って配置されている。また、第3結像光学系G3のすべての光学部材は、第1光軸AX1と直交するように直線状に延びた単一の第2光軸AX2に沿って配置されている。第1平面反射鏡M1と第4平面反射鏡M4とを表裏面鏡として一体的に形成することもできる。第1平面反射鏡M1と第4平面反射鏡M4とを一体に作成すると、表裏面の精度が良く製造しやすい。また、第1平面反射鏡M1と第4平面反射鏡M4とを所定位置に配置する際には角度調整が必要であるが、一体に作成されていると、第1平面反射鏡M1が所定角度からマイナス方向に誤差を有して配置されても第4平面反射鏡M4が所定角度からプラス方向に誤差を打ち消すことになり、後述する第3結像光学系G3に所定角度で入射させることができる。

【0027】さらに具体的な態様によれば、第1結像光学系G1と第2結像光学系G2との間の光路中に、フィ

ールドレンズFLが配置されている。ここで、フィールドレンズFLは、第1中間像の形成に関して積極的に寄与することなく、第1結像光学系G1と第2結像光学系G2とを整合接続する機能を有する。フィールドレンズFLのうちの少なくとも1つのレンズは、第1結像光学系G1の第2凹面反射鏡への入射光を通過させることなく第2凹面反射鏡からの反射光だけを通過させるために部分的に切り欠かれた形状を有する。

【0028】また、フィールドレンズFLのうちの少なくとも1つのレンズは、第1結像光学系G1の第2凹面反射鏡への入射光および第2凹面反射鏡からの反射光とともに通過させるように形成されている。なお、第2結像光学系G2と第3結像光学系G3との間の光路中にも、必要に応じて、フィールドレンズが配置される。

【0029】また、具体的な態様によれば、第1結像光学系G1の第2凹面反射鏡CM2および第2結像光学系G2の第3凹面反射鏡CM3の直前には、それぞれ少なくとも1つの負レンズ成分が配置されている。この構成により、屈折光学部材（レンズ成分）を単一種の光学材料で形成しても、色収差の良好な補正が可能となる。さらに、軸上の色収差と倍率の色収差とを同時に良好に補正することができる。

【0030】また、反射屈折光学系で形成される像領域を規定する視野絞りFSを、第1結像光学系G1と第2結像光学系G2との間のフィールドレンズFLの近傍、または第2結像光学系G2と第3結像光学系G3との間のフィールドレンズの近傍に配置することができる。この場合、照明光学系に視野絞りを設けなくてもよい構成とすることができる。さらに、第3結像光学系G3の光路中に、開口絞りASを配置することができる。

【0031】以上のように、本発明の反射屈折光学系では、第1結像光学系G1および第2結像光学系G2がともに少なくとも1つの凹面反射鏡と少なくとも1つの平面反射鏡とを有し、第3結像光学系G3が屈折型の光学系を構成している。したがって、典型的な態様によれば、第1結像光学系G1および第2結像光学系G2は第1光軸AX1に沿って配置され、第3結像光学系G3は第1光軸AX1と直交する第2光軸AX2に沿って配置される。また、レチクルRおよびウェハWは、第2光軸AX2に沿って配置されることになる。

【0032】このように、本発明では、レチクルRおよびウェハWが配置される第2光軸AX2に沿って配置されるのは第3結像光学系G3だけであって、第1結像光学系G1および第2結像光学系G2は第2光軸AX2と直交する第1光軸AX1に沿って配置される。したがって、本発明では、レチクルRとウェハWとの間の距離すなわち物体面と像面との距離を小さく設定することができる。ひいては高性能で高精度な光学系を実現することができる。特に、第1光軸AX1と第2光軸AX2とを直交させることにより、光軸相互の調整作業が容易にな

り、高性能で高精度な光学系を実現することが容易になる。

【0033】また、第1結像光学系G1および第2結像光学系G2を反射屈折光学系として構成することにより、レンズ成分を単一種の光学材料で形成しても、色収差の良好な補正が可能となる。さらに、第1結像光学系G1の第2凹面反射鏡CM2の直前および第2結像光学系G2の第3凹面反射鏡CM3の直前にそれぞれ少なくとも1つの負レンズ成分を配置することにより、軸上の色収差と倍率の色収差とを同時に良好に補正することができる。

【0034】また、本発明では、第3結像光学系G3の屈折光学系部分が正の屈折力（パワー）を有するために正になりがちなベッツバル和を、第1結像光学系G1および第2結像光学系G2における凹面反射鏡部分（CM2、CM3）の負のベッツバル和により相殺し、全体のベッツバル和を完全に0に抑えることができる。さらに、本発明では、後述の各実施例に示すように、レンズ枚数の少ない簡素な構成が可能になるので、たとえばF<sub>2</sub>エキシマレーザ光を用いても使用光量の減衰を招きにくく、露光装置のスループットの低下を回避することができる。

【0035】

【実施例】以下、本発明の実施例を、添付図面に基づいて説明する。図2は、本発明の各実施例にかかる反射屈折光学系を投影光学系として備えた露光装置の全体構成を概略的に示す図である。なお、図2において、投影光学系PLを構成する反射屈折光学系の基準光軸すなわち第2光軸AX2に平行にZ軸を、基準光軸AX2に垂直な面内において図2の紙面に平行にY軸を、紙面に垂直にX軸を設定している。

【0036】図示の露光装置は、紫外領域の照明光を供給するための光源100として、F<sub>2</sub>レーザ光源（発振中心波長157.6nm）を備えている。光源100から射出された光は、照明光学系ILを介して、所定のパターンが形成されたレチクル（マスク）Rを均一に照明する。なお、光源100と照明光学系ILとの間の光路はケーシング（不図示）で密封されており、光源100から照明光学系IL中の最もレチクル側の光学部材までの空間は、露光光の吸収率が低い気体であるヘリウムガスや窒素などの不活性ガスで置換されているか、あるいはほぼ真空状態に保持されている。

【0037】レチクルRは、レチクルホルダRHを介して、レチクルステージRS上においてXY平面に平行に保持されている。レチクルRには転写すべきパターンが形成されており、パターン領域全体のうちX方向に沿って長辺を有し且つY方向に沿って短辺を有する矩形形状のパターン領域が照明される。レチクルステージRSは、図示を省略した駆動系の作用により、レチクル面（すなわちXY平面）に沿って二次元的に移動可能であり、そ

の位置座標はレチクル移動鏡RMを用いた干渉計RIFによって計測され且つ位置制御されるように構成されている。

【0038】レチクルRに形成されたパターンからの光は、反射屈折型の投影光学系PLを介して、感光性基板であるウェハW上にレチクルパターン像を形成する。ウェハWは、ウェハテーブル（ウェハホルダ）WTを介して、ウェハステージWS上においてXY平面に平行に保持されている。そして、レチクルR上での矩形の照明領域に光学的に対応するように、ウェハW上ではX方向に沿って長辺を有し且つY方向に沿って短辺を有する矩形の露光領域にパターン像が形成される。ウェハステージWSは、図示を省略した駆動系の作用によりウェハ面（すなわちXY平面）に沿って二次元的に移動可能であり、その位置座標はウェハ移動鏡WMを用いた干渉計WIFによって計測され且つ位置制御されるように構成されている。

【0039】図3は、ウェハ上に形成される矩形の露光領域（すなわち実効露光領域）と基準光軸との位置関係を示す図である。図3に示すように、各実施例では、基準光軸AX2を中心とした半径A（最大像高に対応）を有する円形状の領域（イメージサークル）IF内において、基準光軸AX2から-Y方向に偏心した位置に所望の大きさを有する矩形の実効露光領域ERが設定される。ここで、実効露光領域ERのX方向の長さはLXであり、そのY方向の長さはLYである。

【0040】したがって、図1に示すように、レチクルR上では、基準光軸AX2から+Y方向に偏心した位置に実効露光領域ERに対応した大きさおよび形状を有する矩形の照明領域IRが形成されていることになる。すなわち、基準光軸AX2を中心とした半径B（最大物体高に対応）を有する円形状の領域内において、基準光軸AX2から+Y方向に偏心した位置に所望の大きさを有する矩形の照明領域IRが設定されている。

【0041】また、図示の露光装置では、投影光学系PLを構成する光学部材のうち最もレチクル側に配置された光学部材（各実施例では第1平面反射鏡M1）と最もウェハ側に配置された光学部材（第1実施例ではレンズL312、第2実施例ではレンズL311）との間で投影光学系PLの内部が気密状態を保つように構成され、投影光学系PLの内部の気体はヘリウムガスや窒素などの不活性ガスで置換されているか、あるいはほぼ真空状態に保持されている。

【0042】さらに、照明光学系ILと投影光学系PLとの間の狭い光路には、レチクルRおよびレチクルステージRSなどが配置されているが、レチクルRおよびレチクルステージRSなどを密封包囲するケーシング（不図示）の内部に窒素やヘリウムガスなどの不活性ガスが充填されているか、あるいはほぼ真空状態に保持されている。

【0043】また、投影光学系PLとウェハWとの間の狭い光路には、ウェハWおよびウェハステージWSなどが配置されているが、ウェハWおよびウェハステージWSなどを密封包囲するケーシング（不図示）の内部に窒素やヘリウムガスなどの不活性ガスが充填されているか、あるいはほぼ真空状態に保持されている。このように、光源100からウェハWまでの光路の全体に亘って、露光光がほとんど吸収されることのない雰囲気形成されている。

【0044】上述したように、投影光学系PLによって規定されるレチクルR上の照明領域およびウェハW上の露光領域（すなわち実効露光領域ER）は、Y方向に沿って短辺を有する矩形形状である。したがって、駆動系および干渉計（RIF、WIF）などを用いてレチクルRおよびウェハWの位置制御を行いながら、矩形の露光領域および照明領域の短辺方向すなわちY方向に沿ってレチクルステージRSとウェハステージWSとを、ひいてはレチクルRとウェハWとを反対の方向へ（すなわち反対の向きへ）同期的に移動（走査）させることにより、ウェハW上には露光領域の長辺に等しい幅を有し且つウェハWの走査量（移動量）に応じた長さを有する領域に対してレチクルパターンが走査露光される。

【0045】各実施例において、本発明の反射屈折光学系からなる投影光学系PLは、第1面に配置されたレチクルRのパターンの第1中間像を形成するための反射屈折型の第1結像光学系G1と、第1結像光学系G1を介した光に基づいてレチクルRのパターンの第2中間像を形成するための反射屈折型の第2結像光学系G2と、第2結像光学系G2を介した光に基づいて第2面に配置されたウェハW上にレチクルパターンの最終像（レチクルパターンの縮小像）を形成するための屈折型の第3結像光学系G3とを備えている。

【0046】なお、各実施例において、第1結像光学系G1の第1平面反射鏡M1を除くすべての光学部材および第2結像光学系G2の第4平面反射鏡M4を除くすべての光学部材は、第1光軸AX1に沿って配置されている。また、第3結像光学系G3を構成するすべての光学部材は、第1光軸AX1と直交する第2光軸AX2に沿って配置されている。さらに、第1結像光学系G1と第2結像光学系G2との間の光路中に第1フィールドレンズが配置され、第2結像光学系G2と第3結像光学系G3との間の光路中に第2フィールドレンズが配置されている。

【0047】各実施例において、投影光学系PLを構成するすべての屈折光学部材（レンズ成分）には蛍石（ $\text{CaF}_2$ 結晶）を使用している。また、露光光である $\text{F}_2$ レーザ光の発振中心波長は157.6nmであり、157.6nm付近において $\text{CaF}_2$ の屈折率は、+1pmの波長変化あたり $-2.45 \times 10^{-6}$ の割合で変化し、-1pmの波長変化あたり $+2.45 \times 10^{-6}$ の割合で



変化する。換言すると、157.6 nm付近において、 $\text{CaF}_2$ の屈折率の分散 ( $dn/d\lambda$ ) は、 $2.45 \times 10^{-6}/\text{pm}$ である。

【0048】したがって、各実施例において、中心波長157.6 nmに対する $\text{CaF}_2$ の屈折率は1.560000である。そして、 $157.6 \text{ nm} + 0.4 \text{ pm} = 157.6004 \text{ nm}$ に対する $\text{CaF}_2$ の屈折率は1.55999902 $\approx$ 1.559999であり、 $157.6 \text{ nm} - 0.4 \text{ pm} = 157.5995 \text{ nm}$ に対する $\text{CaF}_2$ の屈折率は1.56000098 $\approx$ 1.560001である。

【0049】また、各実施例において、非球面は、光軸に垂直な方向の高さを $y$ とし、非球面の頂点における接平面から高さ $y$ における非球面上の位置までの光軸に沿った距離（サグ量）を $z$ とし、頂点曲率半径を $r$ とし、円錐係数を $\kappa$ とし、 $n$ 次の非球面係数を $C_n$ としたとき、以下の数式（a）で表される。

【0050】  
【数1】 $z = (y^2/r) / [1 + \{1 - (1 + \kappa) \cdot y^2/r^2\}^{1/2}] + C_4 \cdot y^4 + C_6 \cdot y^6 + C_8 \cdot y^8 + C_{10} \cdot y^{10}$  (a)

各実施例において、非球面形状に形成されたレンズ面には面番号の右側に\*印を付している。

【0051】〔第1実施例〕図4は、第1実施例にかかる反射屈折光学系（投影光学系PL）のレンズ構成を示す図である。図4の反射屈折光学系において、第1結像光学系G1は、レチクル側から光の進行方向に沿って、第1平面反射鏡M1と、第1平面反射鏡M1側に凸面を向けた正メニスカスレンズL11と、両凹レンズL12と、第1平面反射鏡M1側に凹面を向けた第2凹面反射鏡CM2とから構成されている。ここで、正メニスカスレンズL11、両凹レンズL12、および第2凹面反射鏡CM2は、図中水平な第1光軸AX1に沿って図中右側から順に配置されている。

【0052】また、第2結像光学系G2は、第1結像光学系G1側から光の進行方向に沿って、第1結像光学系G1側に凹面を向けた負メニスカスレンズL21と、第1結像光学系G1側に凹面を向けた第3凹面反射鏡CM3と、第4平面反射鏡M4とから構成されている。ここで、負メニスカスレンズL21および第3凹面反射鏡CM3は、第1光軸AX1に沿って図中左側から順に配置されている。

【0053】さらに、第3結像光学系G3は、レチクル側から順に、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL31と、レチクル側に非球面状の凹面を向けた負メニスカスレンズL32と、ウェハ側に非球面状の凹面を向けた負メニスカスレンズL33と、両凸レンズL34と、レチクル側に非球面状の凸面を向けた負メニスカスレンズL35と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL36と、開口絞りASと、レチクル側に非

球面状の凸面を向けた両凸レンズL37と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL38と、ウェハ側に非球面状の凸面を向けた両凸レンズL39と、両凸レンズL310と、ウェハ側に非球面状の凹面を向けた正メニスカスレンズL311と、両凸レンズL312とから構成されている。ここで、レンズL31～L312は、図中鉛直な第2光軸AX2に沿って図中上側（レチクル側）から順に配置されている。

【0054】なお、第1結像光学系G1と第2結像光学系G2との間の光路中には、第1結像光学系G1側から光の進行方向に沿って、第1結像光学系G1側に凹面を向けた正メニスカスレンズL41と、第1結像光学系G1側に凸面を向けた正メニスカスレンズの部分レンズL42とから構成された第1フィールドレンズが配置されている。すなわち、正メニスカスレンズL41および正メニスカスレンズの部分レンズL42は、第1光軸AX1に沿って図中左側から順に配置されている。

【0055】ここで、正メニスカスレンズL41は、正メニスカスレンズL11と同じレンズであって、第2凹面反射鏡CM2への入射光および第2凹面反射鏡CM2からの反射光とともに通過させる。正メニスカスレンズの部分レンズL42は、第2凹面反射鏡CM2への入射光を通過させることなく、第2凹面反射鏡CM2からの反射光だけを通過させるために、正メニスカスレンズを部分的に切り欠いた形状を有する。

【0056】また、第2結像光学系G2と第3結像光学系G3との間の光路中には、レチクル側から順に、レチクル側に非球面状の凸面を向けた両凸レンズL51と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL52と、ウェハ側に非球面状の凸面を向けた正メニスカスレンズL53とから構成された第2フィールドレンズが配置されている。ここで、レンズL51～L53は、第2光軸AX2に沿って図中上側（レチクル側）から順に配置されている。

【0057】したがって、第1実施例では、レチクルRからの光が、第1平面反射鏡M1で反射された後、正メニスカスレンズL11および両凹レンズL12を介して、第2凹面反射鏡CM2に入射する。第2凹面反射鏡CM2で反射された光は、第1フィールドレンズ（L41、L42）の近傍にレチクルパターン（第1中間像）を形成する。第1フィールドレンズ（L41、L42）の近傍に形成された第1中間像からの光は、負メニスカスレンズL21を介して、第3凹面反射鏡CM3に入射する。

【0058】第3凹面反射鏡CM3で反射された光は、負メニスカスレンズL21を介して、第4平面反射鏡M4に入射する。第4平面反射鏡M4で反射された光は、第2フィールドレンズ（L51～L53）中にレチクルパターン（第2中間像）を形成する。第2フィールドレンズ（L51～L53）中に形成された第2中間像からの



光は、第3結像光学系G3を構成する各レンズL31～L312を介して、ウェハW上にレチクルパターンの最終像を形成する。

【0059】次の表(1)に、第1実施例にかかる反射屈折光学系の諸元の値を掲げる。表(1)の主要諸元において、 $\lambda$ は露光光の中心波長を、 $\beta$ は投影倍率(全系の結像倍率)を、NAは像側(ウェハ側)開口数を、AはウェハW上でのイメージサークルIFの半径すなわち最大像高を、Bは最大像高Aに対応する最大物体高を、LXは実効露光領域ERのX方向に沿った寸法(長辺の寸法)を、LYは実効露光領域ERのY方向に沿った寸法(短辺の寸法)をそれぞれ表している。

【0060】また、表(1)の光学部材諸元において、第1カラムの面番号はレチクル側から光の進行方向に沿った面の順序を、第2カラムのrは各面の曲率半径(非球面の場合には頂点曲率半径: mm)を、第3カラムの

dは各面の軸上間隔すなわち面間隔(mm)を、第4カラムのnは中心波長に対する屈折率をそれぞれ示している。なお、面間隔dは、反射される度にその符号を変えるものとする。したがって、面間隔dの符号は、第1平面反射鏡M1から第2凹面反射鏡CM2への光路中および第3凹面反射鏡CM3から第4平面反射鏡M4への光路中では負とし、その他の光路中では正としている。

【0061】また、第1光軸に沿って配置された光学面では、図中左側に向かって凸面の曲率半径を正とし、図中左側に向かって凹面の曲率半径を負としている。さらに、第2光軸に沿って配置された光学面では、レチクル側(図中上側)に向かって凸面の曲率半径を正とし、レチクル側に向かって凹面の曲率半径を負としている。以降の表(2)においても、上述の表記は同様である。

【0062】

【表1】

(主要諸元)

$\lambda = 157.6 \text{ nm}$

$\beta = 1/5$

NA = 0.845

A = 20 mm

B = 100 mm

LX = 22 mm

LY = 5.5 mm

(光学部材諸元)

面番号	r	d	n
(レチクル面)			
1	$\infty$	-10.000000	(第1平面反射鏡M1)
2	-375.61418	-69.999996	1.560000 (レンズL11)
3	-8384.72157	-577.410812	
4	3695.39575	-15.430078	1.560000 (レンズL12)
5	-1011.27343	-20.000282	
6	488.06850	20.000282	(第2凹面反射鏡CM2)
7	-1011.27343	15.430078	1.560000 (レンズL12)
8	3695.39575	577.410812	
9	-8384.72155	69.999996	1.560000 (レンズL41)
10	-375.61418	1.000000	
11	523.29394	26.651917	1.560000 (レンズL42)
12	7089.68959	776.202894	
13	-233.13196	12.344063	1.560000 (レンズL21)
14	-782.75388	20.000264	
15	-397.38457	-20.000264	(第3凹面反射鏡CM3)
16	-782.75388	-12.344063	1.560000 (レンズL21)
17	-233.13196	-730.717730	
18	$\infty$	200.000000	(第4平面反射鏡M4)
19*	485.08331	29.459002	1.560000 (レンズL51)
20	-3575.98802	1.000000	
21	233.35657	29.671010	1.560000 (レンズL52)
22	486.59435	92.567882	
23	-2726.09488	15.000000	1.560000 (レンズL53)

24*	-905.37791	189.879636		
25	171.44052	18.057863	1.560000	(レンズL31)
26	230.14097	81.533597		
27*	-134.73026	23.510345	1.560000	(レンズL32)
28	-3198.32252	19.739819		
29	200.39557	15.000000	1.560000	(レンズL33)
30*	155.44391	11.006083		
31	214.60791	43.765233	1.560000	(レンズL34)
32	-552.06075	4.884579		
33*	273.28545	15.000000	1.560000	(レンズL35)
34	169.26001	49.818640		
35	206.47284	28.337440	1.560000	(レンズL36)
36	512.08579	56.625033		
37	$\infty$	29.862740		(開口絞りAS)
38*	307.92600	29.246184	1.560000	(レンズL37)
39	-1614.99027	1.000000		
40	339.56596	15.002529	1.560000	(レンズL38)
41	428.85314	1.000000		
42	292.93034	55.380125	1.560000	(レンズL39)
43*	-365.29687	4.141093		
44	394.28173	53.678655	1.560000	(レンズL310)
45	-1442.13457	2.718799		
46	112.27860	28.030508	1.560000	(レンズL311)
47*	314.25185	6.015629		
48	666.58142	53.355715	1.560000	(レンズL312)
49	-1471.85947	6.000000		

(ウェハ面)

(非球面データ)

19面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = -0.178149 \times 10^{-8} \quad C_6 = 0.405049 \times 10^{-13}$$

$$C_8 = 0.468516 \times 10^{-18} \quad C_{10} = 0.885923 \times 10^{-24}$$

24面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.118099 \times 10^{-7} \quad C_6 = 0.431921 \times 10^{-13}$$

$$C_8 = 0.582249 \times 10^{-18} \quad C_{10} = -0.416199 \times 10^{-22}$$

27面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.130981 \times 10^{-7} \quad C_6 = 0.14709 \times 10^{-11}$$

$$C_8 = 0.286138 \times 10^{-16} \quad C_{10} = 0.824171 \times 10^{-21}$$

30面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = -0.221086 \times 10^{-7} \quad C_6 = 0.485234 \times 10^{-12}$$

$$C_8 = -0.443606 \times 10^{-16} \quad C_{10} = 0.674127 \times 10^{-21}$$

33面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = -0.387569 \times 10^{-7} \quad C_8 = -0.117576 \times 10^{-11}$$

$$C_8 = -0.216249 \times 10^{-16} \quad C_{16} = -0.135314 \times 10^{-20}$$

38面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = -0.324171 \times 10^{-7} \quad C_8 = -0.600865 \times 10^{-12}$$

$$C_8 = -0.868014 \times 10^{-17} \quad C_{16} = -0.206122 \times 10^{-21}$$

43面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.419536 \times 10^{-8} \quad C_8 = -0.141122 \times 10^{-12}$$

$$C_8 = 0.403164 \times 10^{-17} \quad C_{16} = 0.307861 \times 10^{-21}$$

47面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.366932 \times 10^{-7} \quad C_8 = 0.458258 \times 10^{-12}$$

$$C_8 = -0.386388 \times 10^{-16} \quad C_{16} = -0.274150 \times 10^{-20}$$

【0063】図5および図6は、第1実施例にかかる反射屈折光学系の横収差を示す図である。収差図において、Yは像高(mm)を示している。収差図から明らかなように、第1実施例では、波長幅が157.6nm±0.4pmの露光光に対して、すなわち中心波長が157.6nmで半値幅0.7pmのF<sub>2</sub>レーザ光に対して、色収差が良好に補正されていることがわかる。また、球面収差、コマ収差、非点収差、ディストーション(歪曲収差)がほぼ無収差に近い状態まで良好に補正され、優れた結像性能を有することを確認している。

【0064】〔第2実施例〕図7は、第2実施例にかかる反射屈折光学系(投影光学系PL)のレンズ構成を示す図である。図7の反射屈折光学系において、第1結像光学系G1は、レチクル側から光の進行方向に沿って、第1平面反射鏡M1と、第1平面反射鏡M1側に凸面を向けた正メニスカスレンズL11と、両凸レンズL12と、第1平面反射鏡M1側に凹面を向けた第2凹面反射鏡CM2とから構成されている。ここで、正メニスカスレンズL11、両凸レンズL12、および第2凹面反射鏡CM2は、図中水平な第1光軸AX1に沿って図中右側から順に配置されている。

【0065】また、第2結像光学系G2は、第1結像光学系G1側から光の進行方向に沿って、第1結像光学系G1側に凹面を向けた負メニスカスレンズL21と、第1結像光学系G1側に凹面を向けた第3凹面反射鏡CM3と、第4平面反射鏡M4とから構成されている。ここで、負メニスカスレンズL21および第3凹面反射鏡CM3は、第1光軸AX1に沿って図中左側から順に配置されている。

【0066】さらに、第3結像光学系G3は、レチクル側から順に、レチクル側に凹面を向けた負メニスカスレンズL31と、レチクル側に非球面状の凸面を向けた両凸レンズL32と、ウェハ側に非球面状の凹面を向けた

両凹レンズL33と、両凸レンズL34と、レチクル側に非球面状の凸面を向けた両凹レンズL35と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL36と、開口絞りASと、レチクル側に非球面状の凸面を向けた両凸レンズL37と、ウェハ側に非球面状の凸面を向けた両凸レンズL38と、両凸レンズL39と、ウェハ側に非球面状の凹面を向けた正メニスカスレンズL310と、両凸レンズL311とから構成されている。ここで、レンズL31～L311は、図中鉛直な第2光軸AX2に沿って図中上側(レチクル側)から順に配置されている。

【0067】なお、第1結像光学系G1と第2結像光学系G2との間の光路中には、第1結像光学系G1側から光の進行方向に沿って、第1結像光学系G1側に凹面を向けた正メニスカスレンズL41と、第1結像光学系G1側に凸面を向けた正メニスカスレンズの部分レンズL42とから構成された第1フィールドレンズが配置されている。すなわち、正メニスカスレンズL41および正メニスカスレンズの部分レンズL42は、第1光軸AX1に沿って図中左側から順に配置されている。

【0068】ここで、正メニスカスレンズL41は、正メニスカスレンズL11と同じレンズであって、第2凹面反射鏡CM2への入射光および第2凹面反射鏡CM2からの反射光とともに通過させる。正メニスカスレンズの部分レンズL42は、第2凹面反射鏡CM2への入射光を通過させることなく、第2凹面反射鏡CM2からの反射光だけを通過させるために、正メニスカスレンズを部分的に切り欠いた形状を有する。

【0069】また、第2結像光学系G2と第3結像光学系G3との間の光路中には、レチクル側から順に、レチクル側に非球面状の凸面を向けた両凸レンズL51と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL52と、レチクル側に非球面状の凸面を向けた両凸レンズL

53とから構成された第2フィールドレンズが配置されている。ここで、レンズL51～L53は、第2光軸AX2に沿って図中上側（レチクル側）から順に配置されている。

【0070】したがって、第1実施例では、レチクルRからの光が、第1平面反射鏡M1で反射された後、正メニスカスレンズL11および両凹レンズL12を介して、第2凹面反射鏡CM2に入射する。第2凹面反射鏡CM2で反射された光は、第1フィールドレンズ（L41、L42）の近傍にレチクルパターンの第1中間像を形成する。第1フィールドレンズ（L41、L42）の近傍に形成された第1中間像からの光は、負メニスカスレンズL21を介して、第3凹面反射鏡CM3に入射する。

【0071】第3凹面反射鏡CM3で反射された光は、負メニスカスレンズL21を介して、第4平面反射鏡M4に入射する。第4平面反射鏡M4で反射された光は、第2フィールドレンズ（L51～L53）の近傍にレチクルパターンの第2中間像を形成する。第2フィールドレンズ（L51～L53）の近傍に形成された第2中間像からの光は、第3結像光学系G3を構成する各レンズL31～L311を介して、ウェハW上にレチクルパターンの最終像を形成する。

【0072】次の表（2）に、第2実施例にかかる反射屈折光学系の諸元の値を掲げる。

【0073】

【表2】

（主要諸元）

$\lambda = 157.6 \text{ nm}$

$\beta = 1/5$

$\text{NA} = 0.845$

$A = 20 \text{ mm}$

$B = 100 \text{ mm}$

$LX = 22 \text{ mm}$

$LY = 5.5 \text{ mm}$

（光学部材諸元）

面番号	r	d	n	
	（レチクル面）	290.027792		
1	$\infty$	-10.000000		（第1平面反射鏡M1）
2	-375.77476	-70.000000	1.560000	（レンズL11）
3	-8471.57979	-571.612419		
4	880.34723	-20.000002	1.560000	（レンズL12）
5	-1526.15631	-20.000068		
6	430.44124	20.000068		（第2凹面反射鏡CM2）
7	-1526.15631	20.000002	1.560000	（レンズL12）
8	880.34723	571.612419		
9	-8471.57979	69.999999	1.560000	（レンズL41）
10	-375.77476	1.000002		
11	392.76058	40.629139	1.560000	（レンズL42）
12	1108.55246	695.632956		
13	-228.90899	20.000000	1.560000	（レンズL21）
14	-747.58067	20.000181		
15	-395.97377	-20.000181		（第3凹面反射鏡CM3）
16	-747.58067	-20.000000	1.560000	（レンズL21）
17	-228.90899	-664.125014		
18	$\infty$	200.000000		（第4平面反射鏡M4）
19*	307.73876	45.812627	1.560000	（レンズL51）
20	-657.97921	1.000012		
21	149.69136	20.574935	1.560000	（レンズL52）
22	169.28022	26.746170		
23*	536.30443	21.501552	1.560000	（レンズL53）
24	-1334.48120	75.390674		
25	-614.40516	20.000000	1.560000	（レンズL31）

26	14606.79185	71.837998		
27*	435.66480	30.326782	1.560000	(レンズL32)
28	-284.06632	11.648712		
29	-125.54617	20.000000	1.560000	(レンズL33)
30*	114.73493	44.208284		
31	228.79709	53.389558	1.560000	(レンズL34)
32	-208.61721	43.802275		
33*	-362.74483	20.000000	1.560000	(レンズL35)
34	705.62394	1.145699		
35	210.45845	20.000001	1.560000	(レンズL36)
36	348.14561	29.558007		
37	$\infty$	8.302787		(開口絞りAS)
38*	348.07912	36.473270	1.560000	(レンズL37)
39	-364.89841	1.000000		
40	246.94105	53.921552	1.560000	(レンズL38)
41*	-323.09677	5.937773		
42	778.36526	29.012042	1.560000	(レンズL39)
43	-451.33562	1.000000		
44	187.68025	25.248610	1.560000	(レンズL310)
45*	221.00795	16.525885		
46	109.74451	70.000000	1.560000	(レンズL311)
47	-777.78439	6.000000		

(ウエハ面)

(非球面データ)

19面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = -0.668929 \times 10^{-8} \quad C_6 = -0.479397 \times 10^{-13}$$

$$C_8 = -0.673132 \times 10^{-19} \quad C_{10} = 0.106140 \times 10^{-22}$$

23面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = -0.132984 \times 10^{-7} \quad C_6 = -0.177789 \times 10^{-13}$$

$$C_8 = 0.337448 \times 10^{-17} \quad C_{10} = -0.807302 \times 10^{-22}$$

27面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = -0.803336 \times 10^{-7} \quad C_6 = 0.146061 \times 10^{-11}$$

$$C_8 = -0.114820 \times 10^{-15} \quad C_{10} = -0.349779 \times 10^{-20}$$

30面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = -0.183841 \times 10^{-6} \quad C_6 = 0.731671 \times 10^{-11}$$

$$C_8 = -0.495189 \times 10^{-15} \quad C_{10} = 0.335532 \times 10^{-19}$$

33面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = -0.513433 \times 10^{-7} \quad C_6 = -0.369543 \times 10^{-11}$$

$$C_8 = -0.899155 \times 10^{-16} \quad C_{10} = -0.433261 \times 10^{-20}$$

38面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = -0.438078 \times 10^{-7} \quad C_6 = -0.442827 \times 10^{-12}$$

$$C_8 = -0.562647 \times 10^{-17} \quad C_{10} = -0.499761 \times 10^{-22}$$

41面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.264225 \times 10^{-7} \quad C_6 = -0.224965 \times 10^{-12}$$

$$C_8 = 0.211478 \times 10^{-16} \quad C_{10} = 0.235538 \times 10^{-21}$$

45面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.481954 \times 10^{-7} \quad C_6 = 0.419266 \times 10^{-11}$$

$$C_8 = 0.121152 \times 10^{-15} \quad C_{10} = 0.344811 \times 10^{-20}$$

【0074】図8および図9は、第2実施例にかかる反射屈折光学系の横収差を示す図である。収差図において、Yは像高(mm)を示している。収差図から明らかなように、第2実施例においても第1実施例と同様に、波長幅が $157.6\text{ nm} \pm 0.4\text{ pm}$ の露光光に対して、すなわち中心波長が $157.6\text{ nm}$ で半値幅 $0.7\text{ pm}$ のF<sub>2</sub>レーザ光に対して、色収差が良好に補正されていることがわかる。また、球面収差、コマ収差、非点収差、ディストーション(歪曲収差)がほぼ無収差に近い状態まで良好に補正され、優れた結像性能を有することを確認している。

【0075】以上のように、上述の各実施例では、中心波長が $157.6\text{ nm}$ のF<sub>2</sub>レーザ光に対して、0.845の大きな像側NAを確保するとともに、ウェハW上において色収差をはじめとする諸収差が十分に補正された半径が20mmのイメージサークルを確保することができる。したがって、各実施例では、22mm×5.5mmの十分に大きな矩形状の実効露光領域を確保した上で、0.1μm以下の高解像を達成することができる。そして、ウェハWにおいて、たとえば22mm×33mmの大きさを有する各露光領域に、レチクルRのパターンを走査露光により高精度に転写することができる。また、上述の各実施例では、約6mmの十分に長いウェハ側ワーキングディスタンスを確保することができる。

【0076】また、第1実施例では、2つの凹面反射鏡CM1およびCM3の直径が335mm以下であり、2枚の最大のレンズの有効径(直径)が335mm以下であり、その他の大部分のレンズの有効径は240mm以下である。一方、第2実施例では、2つの凹面反射鏡CM1およびCM3の直径が340mm以下であり、2枚の最大のレンズの有効径(直径)が340mm以下であり、その他の大部分のレンズの有効径は230mm以下である。このように、各実施例において、凹面反射鏡やレンズの大型化を抑えて、光学系の小型化が図られている。

【0077】さらに、上述の各実施例では、3回結像方式の光学系でありながら、レンズ枚数が非常に少ない構

成(第1実施例では19枚であり、第2実施例では18枚)となっている。F<sub>2</sub>レーザ光を用いる光学系では、良好な反射防止コートが得られないため、レンズ枚数が多いとレンズ面において光量損失を招きやすい。この観点から、上述の各実施例では、レンズ枚数が少なく、レンズ面における光量損失を抑える構成になっている。

【0078】さらに、第1実施例では物体面(レチクル面)と像面(ウェハ面)との距離は約1.5mであり、第2実施例では物体面と像面との距離は約1.3mである。このように、各実施例において、物体面と像面との距離が小さく抑えられているので、高性能で高精度な光学系を実現することができ、さらに装置の小型化を図ることができる。また、上述の各実施例では、導入された非球面の数も非常に少ない構成(各実施例とも8枚)となっている。

【0079】上述の実施形態にかかる露光装置では、照明光学系によってレチクル(マスク)を照明し(照明工程)、投影光学系を用いてレチクルに形成された転写用のパターンを感光性基板に走査露光する(露光工程)ことにより、マイクロデバイス(半導体素子、撮像素子、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド等)を製造することができる。以下、本実施形態の露光装置を用いて感光性基板としてのウェハ等に所定の回路パターンを形成することによって、マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の手法の一例につき図10のフローチャートを参照して説明する。

【0080】先ず、図10のステップ301において、1ロットのウェハ上に金属膜が蒸着される。次のステップ302において、その1ロットのウェハ上の金属膜上にフォトリソが塗布される。その後、ステップ303において、本実施形態の露光装置を用いて、レチクル上のパターンの像がその投影光学系を介して、その1ロットのウェハ上の各ショット領域に順次露光転写される。その後、ステップ304において、その1ロットのウェハ上のフォトリソの現像が行われた後、ステップ305において、その1ロットのウェハ上でレジストパターンをマスクとしてエッチングを行うことによ



て、レチクル上のパターンに対応する回路パターンが、各ウェハ上の各ショット領域に形成される。その後、更に上のレイヤの回路パターンの形成等を行うことによって、半導体素子等のデバイスが製造される。上述の半導体デバイス製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する半導体デバイスをスループット良く得ることができる。

【0081】また、本実施形態の露光装置では、プレート（ガラス基板）上に所定のパターン（回路パターン、電極パターン等）を形成することによって、マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得ることもできる。以下、図11のフローチャートを参照して、このときの手法の一例につき説明する。図11において、パターン形成工程401では、各実施形態の露光装置を用いてレチクルのパターンを感光性基板（レジストが塗布されたガラス基板等）に転写露光する、所謂光リソグラフィ工程が実行される。この光リソグラフィ工程によって、感光性基板上には多数の電極等を含む所定パターンが形成される。その後、露光された基板は、現像工程、エッチング工程、レチクル剥離工程等の各工程を経ることによって、基板上に所定のパターンが形成され、次のカラーフィルター形成工程402へ移行する。

【0082】次に、カラーフィルター形成工程402では、R（Red）、G（Green）、B（Blue）に対応した3つのドットの組がマトリックス状に多数配列されたり、またはR、G、Bの3本のストライプのフィルターの組を複数水平走査線方向に配列したカラーフィルターを形成する。そして、カラーフィルター形成工程402の後に、セル組み立て工程403が実行される。セル組み立て工程403では、パターン形成工程401にて得られた所定パターンを有する基板、およびカラーフィルター形成工程402にて得られたカラーフィルター等を用いて液晶パネル（液晶セル）を組み立てる。セル組み立て工程403では、例えば、パターン形成工程401にて得られた所定パターンを有する基板とカラーフィルター形成工程402にて得られたカラーフィルターとの間に液晶を注入して、液晶パネル（液晶セル）を製造する。

【0083】その後、モジュール組み立て工程404にて、組み立てられた液晶パネル（液晶セル）の表示動作を行わせる電気回路、バックライト等の各部品を取り付けて液晶表示素子として完成させる。上述の液晶表示素子の製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する液晶表示素子をスループット良く得ることができる。

【0084】なお、上述の実施形態では、波長が157.6nmの光を供給するF<sub>2</sub>レーザを用いているが、これに限定されることなく、たとえば波長248nmの光を供給するKrFエキシマレーザや波長193nmの光を供給するArFエキシマレーザや波長126nmの光を供給するAr<sub>2</sub>レーザなどを用いることもできる。

【0085】また、上述の実施形態では、走査露光型の露光装置の投影光学系に本発明を適用しているが、これに限定されることなく、一括露光型の露光装置の投影光学系に本発明を適用したり、露光装置の投影光学系以外の一般的な結像光学系に本発明を適用したりすることもできる。

#### 【0086】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の反射屈折光学系では、物体面と像面との距離が小さく且つレンズ枚数の少ない簡素な構成を有するので、レンズ面における光量損失を良好に抑えた高性能で高精度な光学系を実現することができ、たとえば波長が180nm以下の真空紫外線波長域の光を用いて0.1μm以下の高解像を達成することができる。また、たとえば有効な開口絞りを設置すべき位置を確保すること、十分に長いワーキングディスタンスを確保すること、および凹面反射鏡の大型化を抑えて光学系の小型化を図ることができる。

【0087】さらに、本発明の反射屈折光学系を露光装置の投影光学系に適用することにより、たとえば波長が180nm以下の露光光を用いて、0.1μm以下の高解像で良好な投影露光を行うことができる。また、本発明の反射屈折光学系を投影光学系として搭載した露光装置を用いて、たとえば0.1μm以下の高解像で良好な投影露光を行うことにより、高精度なマイクロデバイスを製造することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の反射屈折光学系の基本的な構成を説明するための図である。

【図2】本発明の各実施例にかかる反射屈折光学系を投影光学系として備えた露光装置の全体構成を概略的に示す図である。

【図3】ウェハ上に形成される矩形状の露光領域（すなわち実効露光領域）と基準光軸との位置関係を示す図である。

【図4】第1実施例にかかる反射屈折光学系（投影光学系PL）のレンズ構成を示す図である。

【図5】第1実施例にかかる反射屈折光学系の横収差を示す図である。

【図6】第1実施例にかかる反射屈折光学系の横収差を示す図である。

【図7】第2実施例にかかる反射屈折光学系（投影光学系PL）のレンズ構成を示す図である。

【図8】第2実施例にかかる反射屈折光学系の横収差を示す図である。

【図9】第2実施例にかかる反射屈折光学系の横収差を示す図である。

【図10】マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の手法のフローチャートである。

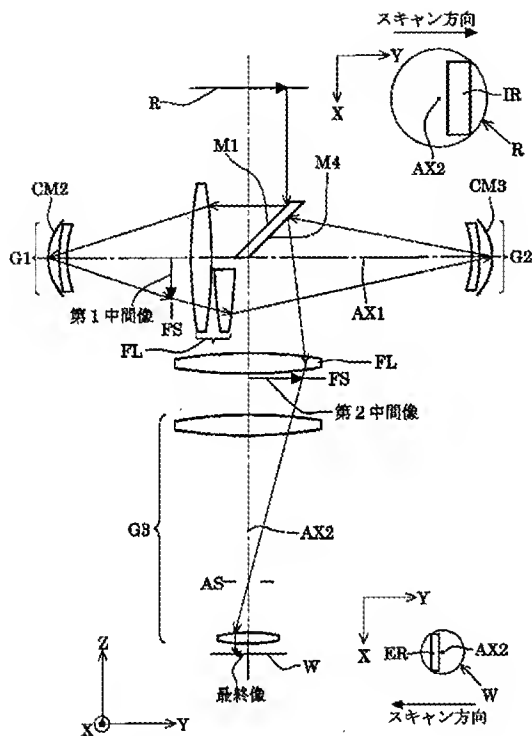
【図11】マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得る際の手法のフローチャートである。

## 【符号の説明】

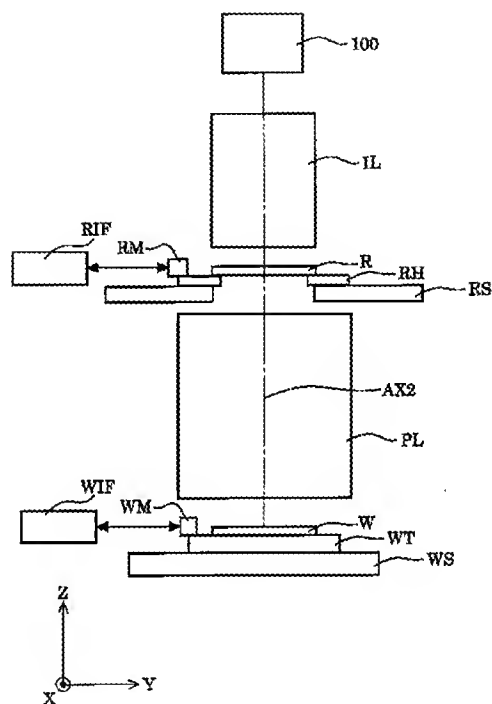
G1 第1結像光学系  
G2 第2結像光学系  
G3 第3結像光学系  
CM 凹面反射鏡  
M 平面反射鏡  
L 各レンズ

100 レーザ光源  
IL 照明光学系  
R レチクル  
RS レチクルステージ  
PL 投影光学系  
W ウェハ  
WS ウェハステージ

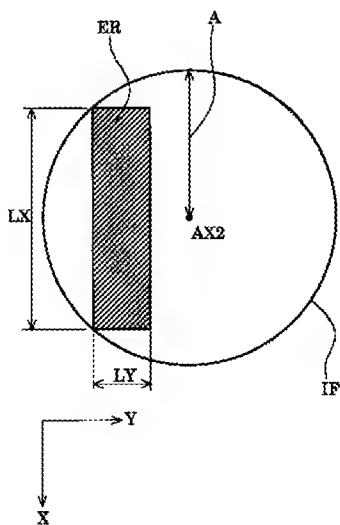
【図1】



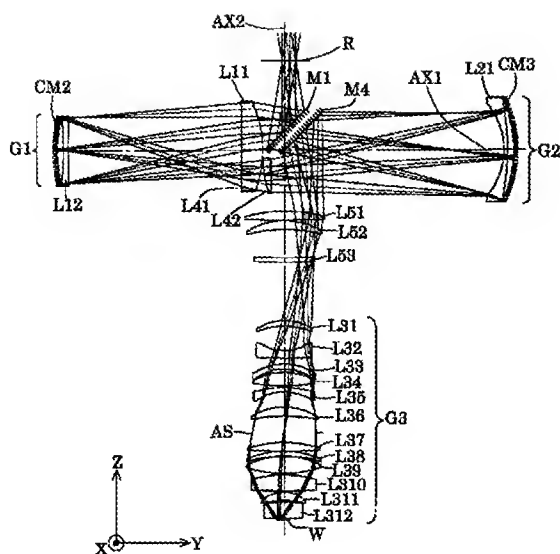
【図2】



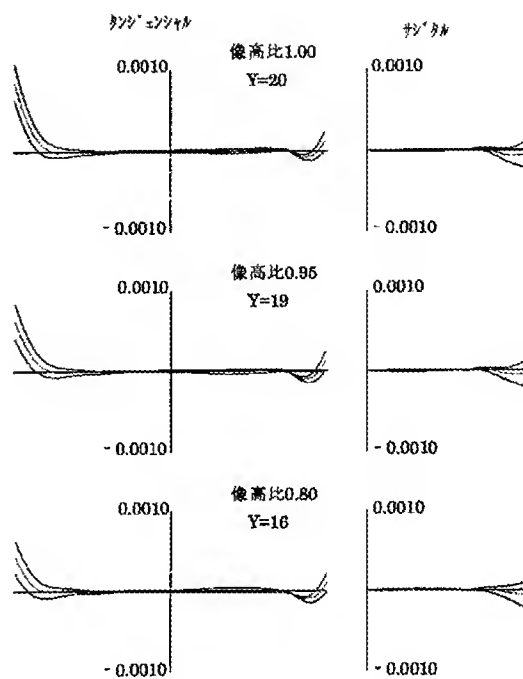
【図3】



【図4】

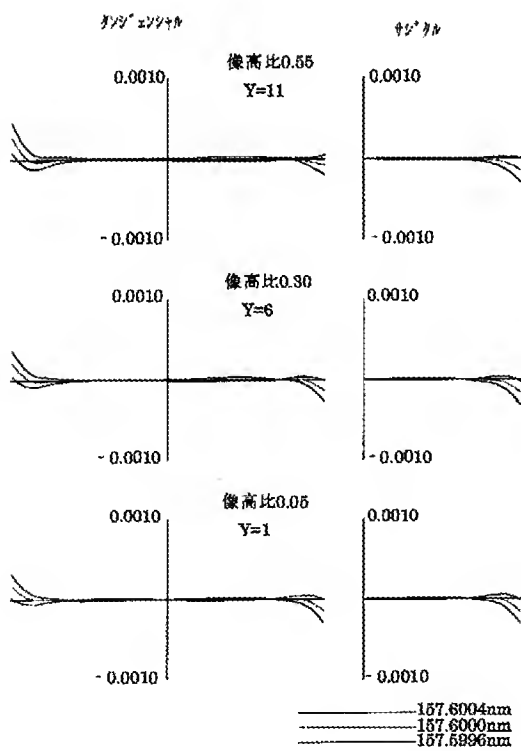


【図5】



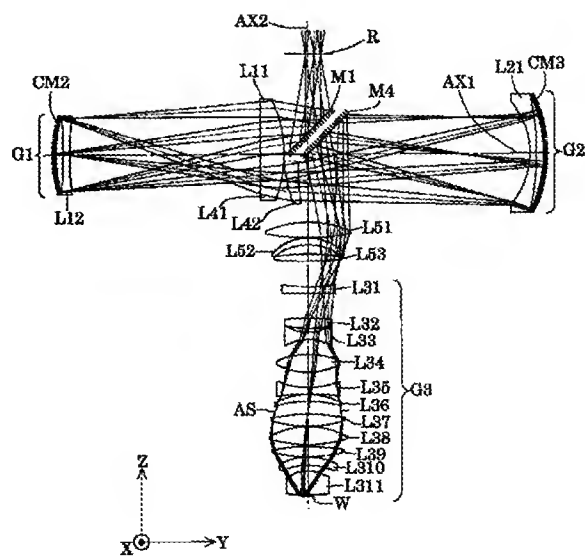
—— 157.6004nm  
 —— 157.6000nm  
 —— 157.5996nm

【図6】

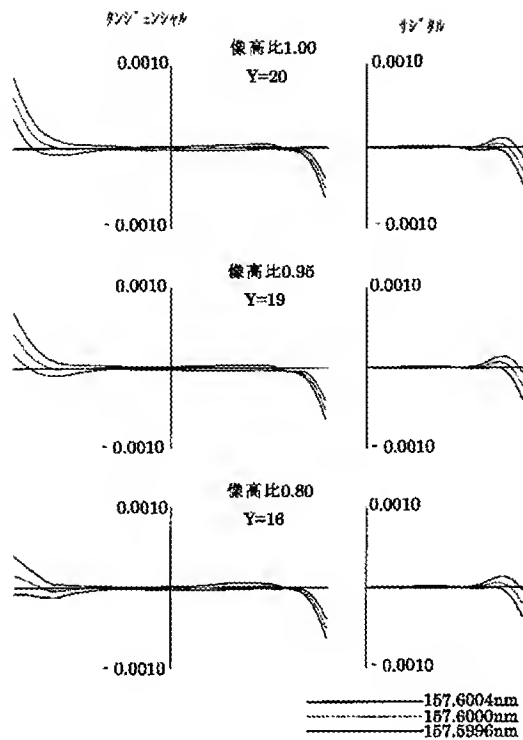


—— 157.6004nm  
 —— 157.6000nm  
 —— 157.5996nm

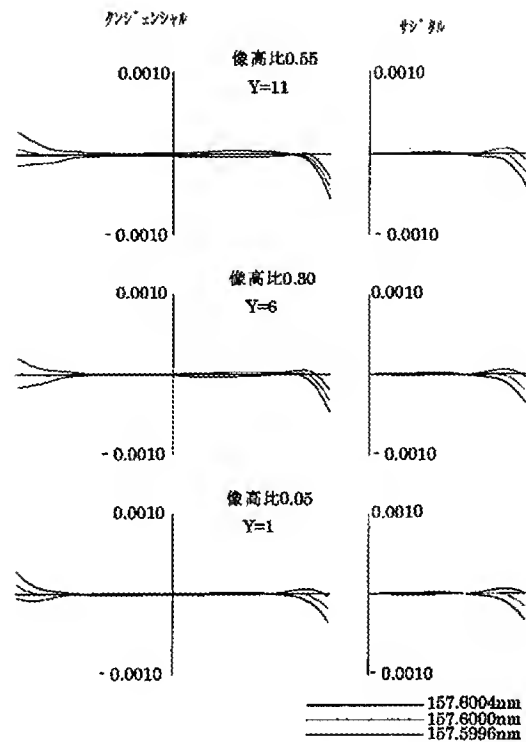
【図7】



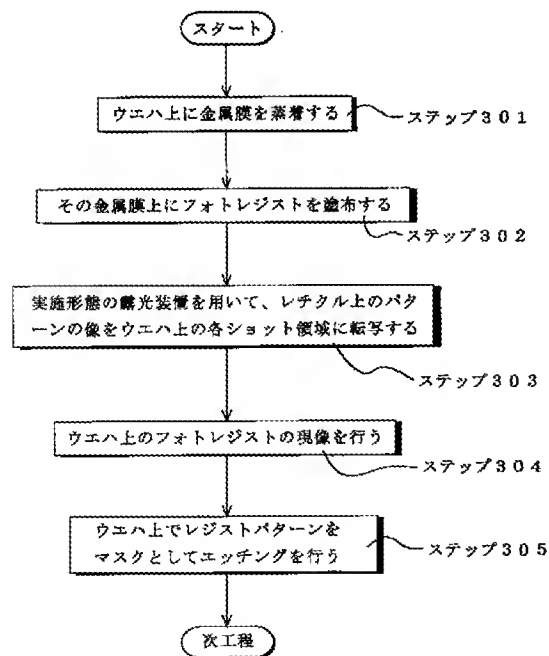
【図8】



【図9】



【図10】



【図11】

